

# TEMAS 45

INVESTIGACION  
*3*  
CIENCIA

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

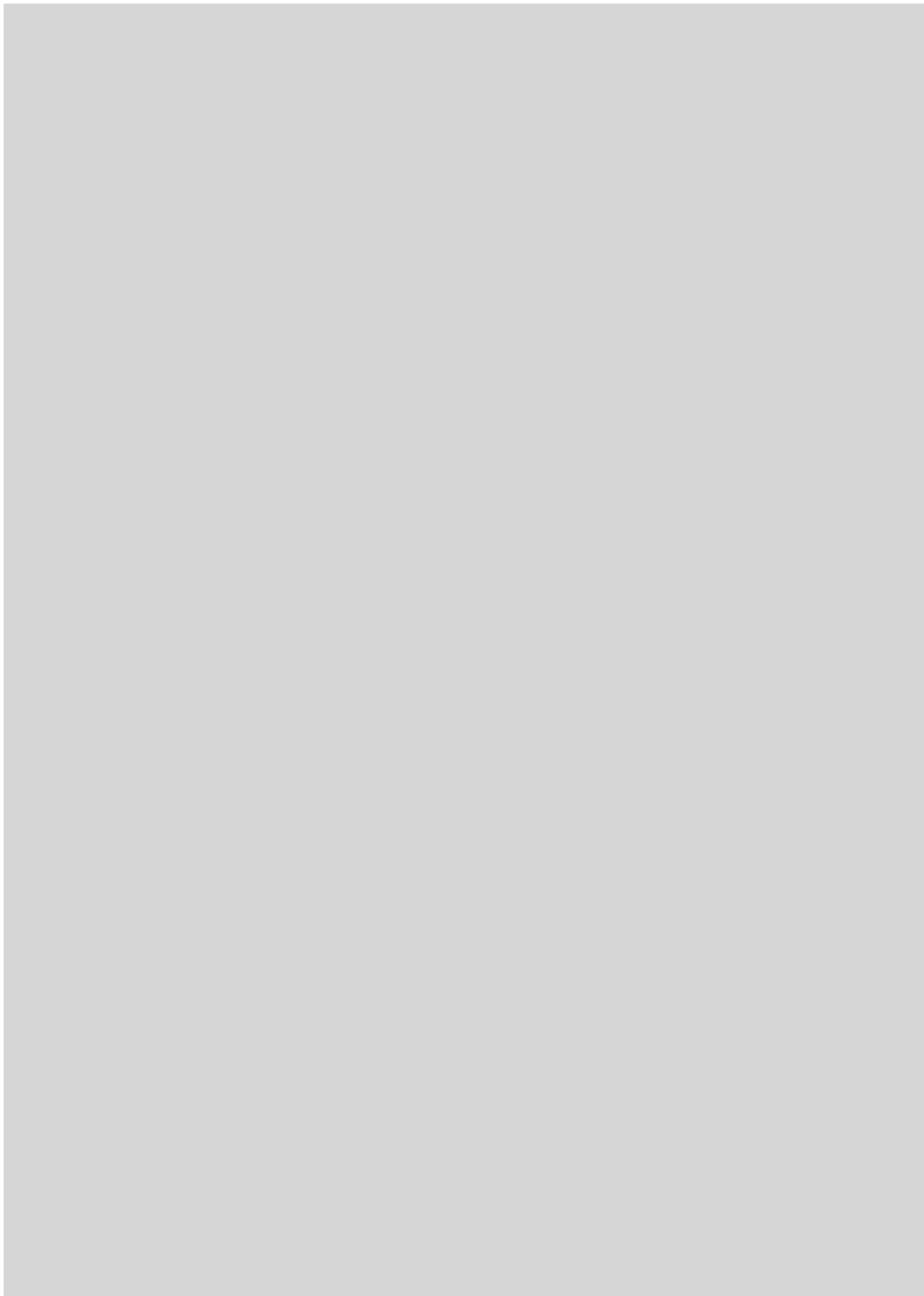
## Cambio climático

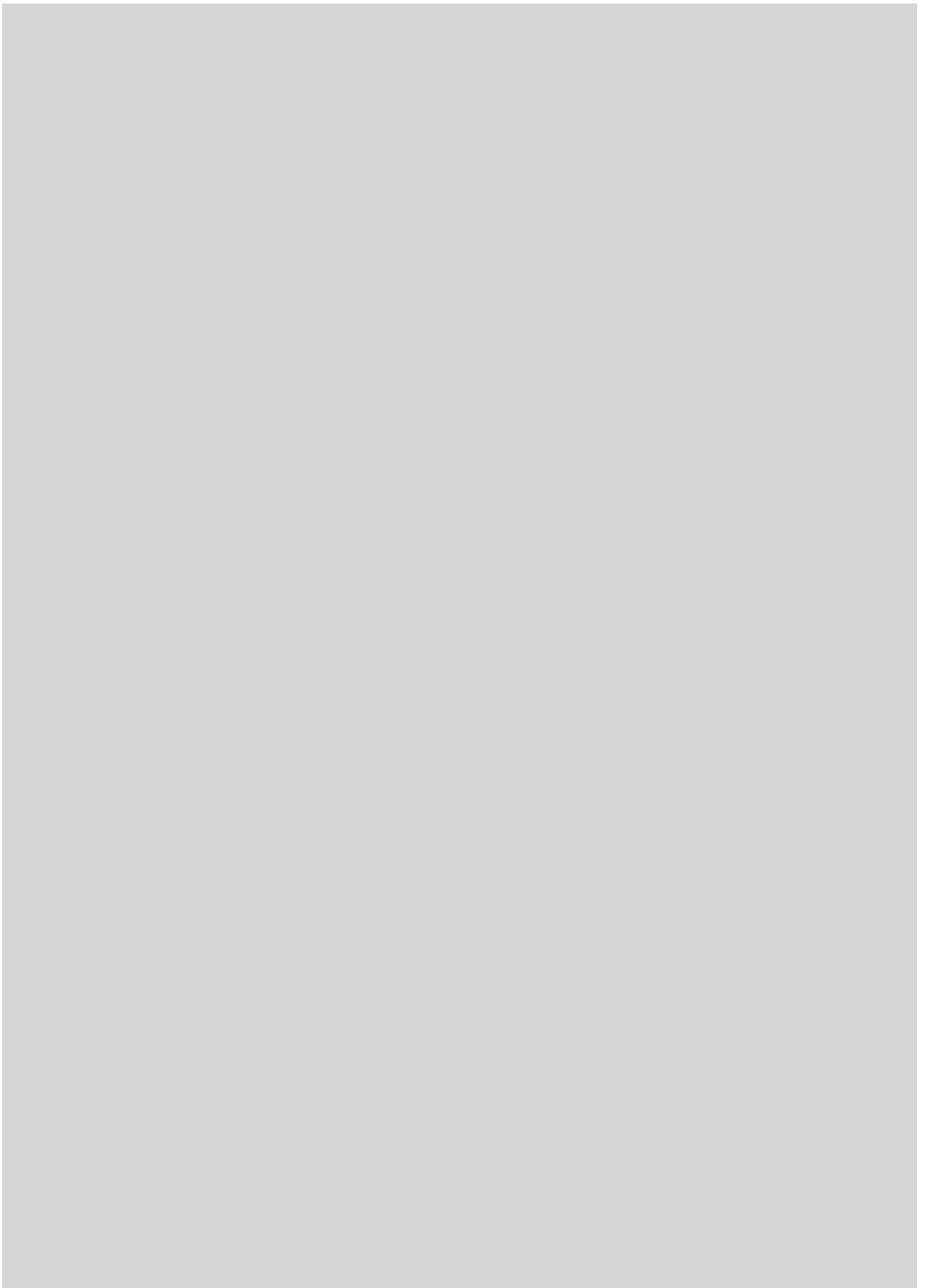
0 0 0 4 5

9 778411 355668

3º trimestre 2006

6,50 EURO





# Sumario

## EL CAMBIO CLIMATICO Y SUS CAUSAS

### **4 El calentamiento global**

*James Hansen*

### **14 Calentamiento antropogénico preindustrial**

*William F. Ruddiman*

### **22 Testigos de hielo de Groenlandia**

*Richard B. Alley y Michael L. Bender*

### **28 Cambio climático brusco**

*Richard B. Alley*

## PREHISTORIA DEL CAMBIO CLIMATICO

### **36 Cuando el metano regulaba el clima**

*James F. Kasting*

### **44 La Tierra, una bola de nieve**

*Paul E. Hoffman y Daniel P. Schrag*

### **52 Cambio climático global en Venus**

*Mark A. Bullock y David H. Grinspoon*

### **62 Cambio climático global en Marte**

*Jeffrey S. Kargel y Robert G. Strom*

## EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMATICO

### **72 Pérdida de sincronía en los ecosistemas**

*Daniel Grossman*

### **82 Fusión en el norte**

*Matthew Sturm, Donald K. Perovich y Mark C. Serreze*

### **90 ¿Sobre hielo quebradizo?**

*Robert A. Bindshadler y Charles R. Bentley*

# EL CAMBIO CLIMATICO Y SUS CAUSAS





# El calentamiento global

*El calentamiento global es real. Las consecuencias podrían ser desastrosas. No obstante, ciertas actuaciones prácticas, que de paso nos proporcionarían una atmósfera más limpia y sana, podrían retardar y, con el tiempo, detener el proceso*

James Hansen



1. UN ICEBERG SE DESPRENDE del glaciar de San Rafael, en Chile. La desintegración de las masas de hielo del mundo entero elevaría el nivel del mar varios metros. Las desastrosas consecuencias de esa elevación establecen una baja cota máxima al calentamiento que puede experimentar el planeta sin repercutir gravemente en la sociedad.



**M**i esposa, mi hijo y yo fuimos a la playa a mediodía. Encontramos un hueco cerca del agua para evitar la abrasadora arena. Cuando el sol se ponía, un fuerte viento del océano llenó el mar de cabrillas. Mi hijo y yo teníamos la carne de gallina mientras corríamos a lo largo de la espumosa orilla y contemplábamos las crestas blancas de las olas.

Aquel mismo verano de 1976, Andy Lacis y yo, junto con otros compañeros del Centro Goddard de Estudios Espaciales de la NASA, habíamos evaluado los efectos de los gases de invernadero sobre el clima. Ya se sabía entonces que se estaban acumulando en la atmósfera gases de invernadero antropogénicos, especialmente el dióxido de carbono y los halocarburos. Estos gases constituyen una “violencia” climática, una perturbación, exógena al sistema, que afecta al equilibrio energético del planeta y, por lo tanto, al clima. A la manera de una manta, los gases de invernadero absorben la radiación infrarroja (calor) que de otra manera escaparía de la superficie terrestre y la atmósfera al espacio.

Nuestro grupo había calculado que esos gases originados de la actividad humana estaban calentando la superficie terrestre a razón de casi dos watt por metro cuadrado. Una bombilla pequeña de un árbol de Navidad disipa alrededor de un watt, principalmente en forma de calor. Era, pues, como si los seres humanos hubiésemos colocado dos de esas bombillas, encendidas día y noche, en cada metro cuadrado de la superficie terrestre.

En aquella playa, se me hizo manifiesta la paradoja implícita en la noción de calentamiento global: el contraste entre las asombrosas fuerzas de la naturaleza y la insignificancia de las bombillitas. Ciertamente, su débil calefacción no podía regir los vientos y olas, ni quitarnos la carne de gallina. Incluso el imperceptible calor que desprendían en la superficie oceánica se disipaba enseguida hacia las grandes profundidades, de modo que harían falta muchos años, quizá siglos, para que se calentase de verdad la superficie.

Esa paradoja en la idea del calentamiento global se ha despejado en buena medida gracias al estudio de la historia del clima terrestre, que ha revelado que fuerzas pequeñas, si actúan durante un tiempo suficiente, llegan a producir grandes cambios climáticos. Y, según los anales, la Tierra ha comenzado a calentarse en recientes decenios a la velocidad predicha por los modelos climáticos que tienen en cuenta la acumulación atmosférica de los gases de invernadero antropogénicos. Ya se perciben efectos del calentamiento: los glaciares están retrocediendo en todo el mundo, los hielos árticos pierden espesor y la primavera llega alrededor de una semana antes que hace 50 años.



Sin embargo, hay muchos puntos que quedan pendientes. ¿Cuánto cambiará el clima en los próximos decenios? ¿Cuáles serán las consecuencias prácticas? ¿Qué deberíamos hacer al respecto, si es que se ha de hacer algo? Es un debate vidrioso; arrastra consigo demasiadas repercusiones económicas.

El análisis objetivo del calentamiento global requiere un conocimiento cuantitativo de tres cuestiones: la sensibilidad del sistema climático a las perturbaciones inducidas, la magnitud de las agresiones provocadas por la actividad humana y el tiempo que el clima tarda en reaccionar ante tales perturbaciones. Todos esos puntos se pueden estudiar con modelos climáticos globales, simulaciones numéricas realizadas en ordenadores. Pero nuestro conocimiento más preciso sobre la sensibilidad climática, al menos hasta ahora, se basa en datos empíricos relativos a la historia de la Tierra.

### Las lecciones de la historia

A lo largo de los últimos millones de años, el clima terrestre ha oscilado repetidamente entre edades del hielo y períodos interglaciales cálidos. Se ha conservado un archivo de temperaturas de 400.000 años de antigüedad en la capa de hielo antártica. Excepto en los bordes costeros, la capa se libró de la fusión incluso en los más cálidos períodos interglaciales. Este archivo (*véase el recuadro “400.000 años de cambio climático”*) sugiere que el presente período interglacial (el Holoceno), que empezó hace unos 12.000 años, está ya agotándose.

Las naturales oscilaciones climáticas milenarias van asociadas a variaciones lentas de la órbita terrestre inducidas por los campos gravitatorios de otros planetas, sobre todo Júpiter y Saturno (porque son muy grandes) y Venus (porque se nos acerca mucho). Estas perturbaciones apenas cambian la energía solar media anual que llega a la Tierra, pero alteran la distribución geográfica y estacional de la energía solar incidente, o insolación, hasta en un 20 por ciento. Los cambios en la insolación durante largos períodos afectan a la formación y fusión de las capas de hielo.

La insolación y los cambios climáticos afectan también a la absorción y emisión de dióxido de carbono y metano por las plantas, los suelos y el océano. Aún no es completo el conocimiento cuantitativo de cómo el océano y los suelos liberan dióxido de carbono y metano cuando la Tierra se calienta, pero los datos paleoclimáticos ofrecen ya un tesoro de información. Las oscilaciones del clima de la Edad de Hielo nos aportan algo fundamental: una medida empírica de la sensibilidad climática.

La composición de la atmósfera de la Edad de Hielo se conoce con precisión gracias a las burbujas de aire aprisionadas a medida que las capas de hielo de la Antártida y Groenlandia, como numerosos glaciares de montaña, iban creciendo gracias a las nevadas de cada año. Además, la distribución geográfica de las capas de hielo, la cubierta vegetal y el perfil de las costas durante la Edad de Hielo están bien cartografiadas. A partir de esos datos, sabemos que la magni-

tud de la perturbación exógena total ha cambiado entre la Edad de Hielo y la actualidad en unos 6,5 watt por metro cuadrado. Esta diferencia sustenta un cambio global de temperatura de 5 grados Celsius, es decir, una sensibilidad climática de  $0,75 \pm 0,25$  grados Celsius por watt y metro cuadrado. Aunque los modelos climáticos predicen una sensibilidad climática similar, el resultado empírico es más preciso y fidedigno porque abarca todos los procesos que operan en el mundo real, incluidos los que todavía no hemos sabido incorporar en los modelos.

Los paleodatos nos enseñan algo más: los cambios de la órbita terrestre provocan cambios climáticos, al alterar las propiedades de la atmósfera y la superficie, y, por lo tanto, el equilibrio de energía planetario. Hoy en día, las actividades humanas afectan más a las propiedades de la atmósfera y la superficie que las variaciones orbitales de nuestro planeta.

### Perturbaciones exógenas

El mayor cambio operado por las perturbaciones exógenas del clima en los siglos recientes es el debido a los gases de invernadero antropogénicos. Los gases de invernadero presentes en la atmósfera absorben la radiación calorífica, en vez de dejarla escapar al espacio. La atmósfera devuelve más calor al suelo del que permite salir al espacio; la Tierra radia así menos energía al espacio que la que absorbe del Sol. Este desequilibrio temporal de la energía planetaria da por resultado un calentamiento gradual de la Tierra.

El más importante gas antropogénico de invernadero es el dióxido de carbono; procede sobre todo de la combustión de carburantes fósiles (carbón, petróleo y gas). No obstante, el efecto combinado de otros gases antropogénicos es comparable. Esos otros gases, especialmente el ozono troposférico y sus precursores, como el metano, son ingredientes de la niebla fotoquímica, perjudicial para la salud humana y la productividad agrícola.

Los aerosoles (partículas finas en el aire) constituyen el otro principal factor humano de alteración del clima. Su efecto es más complicado. Algunos aerosoles “blancos”, como los sulfatos que proceden del azufre en los carburantes fósiles, son muy reflectores y reducen, por tanto, el calentamiento solar de la Tierra; sin embargo, el hollín,

## RESUMEN/CALENTAMIENTO GLOBAL

- ▶ En la actualidad, nuestros más precisos conocimientos de la sensibilidad climática se basan en lo que sabemos de la historia de la Tierra, que nos ha enseñado que pequeñas fuerzas, mantenidas durante suficiente tiempo, producen grandes cambios climáticos.
- ▶ El efecto de los factores antropogénicos que afectan al clima, sobre todo los gases de invernadero, el hollín y otras partículas pequeñas, excede ahora al de los factores naturales; el mundo empieza a calentarse a un ritmo predicho por los modelos climáticos.
- ▶ La estabilidad de las grandes capas de hielo de Groenlandia y la Antártida y la necesidad de preservar la línea de costa en todo el mundo establecen una cota baja para el grado de calentamiento que constituiría una “interferencia antropogénica peligrosa” en el clima.
- ▶ Para detener el calentamiento global se requiere una cooperación internacional urgente y sin precedentes, pero las acciones necesarias son factibles y proporcionan beneficios adicionales a la salud humana, la agricultura y el medio.